

СОДЕРЖАНИЕ

Библиографическая справка	3
ВВЕДЕНИЕ	5
Часть 1. РАЗРАБОТКА НОВЫХ МЕТОДОВ ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ СВАРОЧНОГО ТОКА И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ	9
Глава 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ СВАРКИ МОДУЛИРОВАННЫМ ТОКОМ	9
1.1. Проблемы качества дуговой сварки электродами с покрытием стыков тонкостенных труб во всех пространственных положениях шва в условиях монтажа, ремонта и реконструкции технических устройств	9
1.2. Сущность ручной дуговой сварки модулированным током	13
1.3. Методы модуляции сварочного тока	14
1.4. Технические средства модуляции сварочного тока	19
Глава 2. МОДЕЛЬ ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ МОДУЛИРОВАННЫМ ТОКОМ	22
2.1. Характеристика переноса электродного металла при ручной дуговой сварке как объекта управления	22
2.2. Силы, действующие на каплю и перенос электродного металла	22
2.3. Перенос электродного металла при сварке электродами с покрытием	32
2.4. Разработка феноменологической модели переноса электродного металла при ручной дуговой сварке модулированным током электродами с покрытием	35
Выводы по главе 2	43
Глава 3. НОВЫЕ МЕТОДЫ МОДУЛЯЦИИ СВАРОЧНОГО ТОКА ПРИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ЭЛЕКТРОДАМИ С ПОКРЫТИЕМ	44
3.1. Требования к модуляции тока при ручной дуговой сварке покрытыми электродами, реализующими концепцию «человек – машина – технология»	44
3.2. Циклограммы модулирования сварочного тока, повышающие эффективность ручной дуговой сварки	44
3.3. Обоснование величины номинального тока	49
3.4. Обеспечение оптимального переноса электродного металла независимо от величины $I_{\text{ср}}$	55
3.5. Обеспечение физической устойчивости дуги и технологической устойчивости процесса сварки модулированным током	58
3.6. Экспериментальная оценка номинального (заданного) и порогового напряжений для электродов марок ЦУ-5 и ЦЛ-39	62
Выводы по главе 3	67
Глава 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРОЧНОЙ ДУГИ ПРИ МОДУЛЯЦИИ ТОКА ПО РАЗРАБОТАННЫМ АЛГОРИТМАМ	68
4.1. Определение сварочно-технологических свойств электродов в зависимости от $I_{\text{и}}$ и $I_{\text{ср}}$	68
4.2. Влияние величин $I_{\text{и}}$ и $I_{\text{ср}}$ на химический состав металла шва	72
4.3. Влияние параметров режимов с активным управлением тепловой мощностью сварочной дуги на структуру сварных соединений	78
4.4. Влияние параметров импульсов на отделяемость шлаковой корки	79
4.5. Определение допустимых параметров процесса сварки модулированным током ..	80
Выводы по главе 4	81
Глава 5. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА МОДУЛЯЦИИ СВАРОЧНОГО ТОКА С АВТОМАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТЬЮ СВАРОЧНОЙ ДУГИ	83
Заключение по части 1	86

Часть 2. ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ СВАРКИ	87
Глава 1. ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ	87
Глава 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОСЛЕ СВАРКИ СТАЦИОНАРНОЙ ДУГОЙ	91
2.1. Структурно-фазовое состояние зоны термического влияния сварки со стороны основного металла	91
2.2. Структурно-фазовое состояние зоны термического влияния сварки со стороны металла шва (расстояние до линии сплавления 1,0 мм)	94
Глава 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОСЛЕ СВАРКИ МОДУЛИРОВАННЫМ ТОКОМ	103
Глава 4. ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ И АМПЛИТУД ПОЛЕЙ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗОНЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОСЛЕ СВАРКИ СТАЦИОНАРНОЙ ДУГОЙ И РАЗЛИЧНЫХ СТЕПЕНЕЙ ДЕФОРМАЦИИ	105
4.1. Влияние степени пластической деформации на структурно-фазовое состояние зоны термического влияния со стороны основного металла. Качественная картина	105
4.2. Влияние степени пластической деформации на параметры структуры вблизи линии сплавления со стороны основного металла. Количественные характеристики	108
4.3. Влияние степени пластической деформации на структурно-фазовое состояние металла сварного шва в зоне линии сплавления. Качественная картина	115
4.4. Влияние степени пластической деформации на параметры структуры металла сварного шва в зоне линии сплавления. Количественные характеристики	116
Глава 5. ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ ПОСЛЕ СВАРКИ МОДУЛИРОВАННЫМ ТОКОМ НА ПАРАМЕТРЫ СТРУКТУРЫ И ПОЛЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ	157
5.1. Влияние степени пластической деформации на структурно-фазовое состояние основного металла в зоне термического влияния сварки (деформация 3 %)	157
5.2. Влияние степени пластической деформации на структурно-фазовое состояние основного металла в зоне термического влияния сварки (деформация 5 %)	159
Глава 6. СРАВНЕНИЕ АМПЛИТУД ПОЛЕЙ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОБРАЗЦАХ, ЗАВАРЕННЫХ ДУГОВОЙ СВАРКОЙ СТАЦИОНАРНОЙ ДУГОЙ И СВАРКОЙ МОДУЛИРОВАННЫМ ТОКОМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СТЕПЕНЯХ ДЕФОРМАЦИИ	161
Глава 7. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ СВАРКОЙ СТАЦИОНАРНОЙ ДУГОЙ И СВАРКОЙ МОДУЛИРОВАННЫМ ТОКОМ С ИСКУССТВЕННЫМИ ДЕФЕКТАМИ. НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПОЛЕЙ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ	164
Заключение по части 2	169
Часть 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ 09Г2С	171
Глава 1. ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА СВАРКИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И ПОЛЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗОНЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ СВАРКИ СО СТОРОНЫ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА (С ИСКУССТВЕННЫМИ ДЕФЕКТАМИ И БЕЗ НИХ)	172
1.1. Сварка стационарной дугой без искусственных дефектов в металле шва	172
1.2. Сварка стационарной дугой с искусственными дефектами в швах	174
1.3. Сварка модулированным током (зона термического влияния) без дефектов в шве	176
1.4. Сварка модулированным током с искусственными дефектами	178

1.5. Влияние искусственных дефектов на количественные параметры структуры основного металла в зоне термического влияния сварки	179
Глава 2. ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА СВАРКИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И ПОЛЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗОНЕ ЛИНИИ СПЛАВЛЕНИЯ СО СТОРОНЫ МЕТАЛЛА ШВА (С ИСКУССТВЕННЫМИ ДЕФЕКТАМИ И БЕЗ НИХ)	199
2.1. Сварка стационарной дугой без введения в шов искусственных дефектов	199
2.2. Сварка стационарной дугой с введением искусственных дефектов	199
2.3. Сварка модулированным током без введения искусственных дефектов	201
2.4. Сварка модулированным током с введением искусственных дефектов	203
2.5. Влияние метода сварки на количественные параметры структуры металла шва.....	206
Глава 3. ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И ПОЛЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В МЕТАЛЛЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ СВАРКИ (БЕЗ ДЕФЕКТОВ)	219
3.1 Сварка стационарной дугой без искусственных дефектов	219
3.2. Влияние пластической деформации на структурно-фазовое состояние основного металла в зоне линии сплавления. Количественная картина	220
3.3. Влияние пластической деформации на структурно-фазовое состояние металла шва в зоне линии сплавления. Качественная картина	224
3.4. Влияние пластической деформации на структурно-фазовое состояние металла шва в зоне линии сплавления. Количественная картина	224
Глава 4. СВАРКА СТАЦИОНАРНОЙ ДУГОЙ С ВВЕДЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ ДЕФЕКТОВ	239
4.1. Влияние пластической деформации на структурно-фазовое состояние основного металла. Качественная картина	239
4.2. Влияние пластической деформации на структурно-фазовое состояние основного металла. Количественная картина	239
4.3. Влияние пластической деформации на структурно-фазовое состояние металла шва в зоне линии сплавления. Качественная картина	243
4.4. Влияние пластической деформации на структурно-фазовое состояние металла шва в зоне линии сплавления. Количественная картина	244
Глава 5. СВАРКА МОДУЛИРОВАННЫМ ТОКОМ БЕЗ ВВЕДЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ДЕФЕКТОВ	264
5.1. Влияние пластической деформации на структурно-фазовое состояние основного металла в зоне термического влияния сварки. Качественная картина	264
5.2. Влияние пластической деформации на структурно-фазовое состояние основного металла. Количественная картина	264
5.3. Влияние пластической деформации на структурно-фазовое состояние металла шва в зоне линии сплавления. Качественная картина	268
5.4. Влияние пластической деформации на структурно-фазовое состояние металла шва в зоне линии сплавления. Количественная картина	269
Глава 6. СВАРКА МОДУЛИРОВАННЫМ ТОКОМ С ВВЕДЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ ДЕФЕКТОВ	290
6.1. Влияние пластической деформации на структурно-фазовое состояние основного металла в зоне термического влияния сварки. Качественная картина	290
6.2. Влияние пластической деформации на структурно-фазовое состояние основного металла в зоне термического влияния сварки. Количественная картина	290
6.3. Влияние пластической деформации на структурно-фазовое состояние металла шва в зоне линии сплавления. Качественная картина	294